运动源电荷发出的电磁波速度

汤克云

中国科学院地质与地球物理研究所

kytang@mail.igcas.ac.cn

摘 要

我们已经证明：真空中的达朗贝尔波动方程是在源观相对静止的条件下导出的，所以，“源观相对静止”是“电磁波速度不变”的必要条件。人们必然要问：如果源观之间存在相对速度，电磁波的传播速度应当是多少？根据李纳-维谢的推迟势理论，当源观之间有了相对运动，推迟势将与这个相对速度有关。本文指出：这相当于真空中的介电常数和导磁率发生了变化，成为等效的介电率和等效的导磁率。计算表明：在源观相对运动的真空中，等效介电率和等效导磁率都是各向异性的。 本文导出的结果是：电磁波的传播速度等于源观相对静止条件下的电磁波速度与源观相对运动沿电磁波传播方向的速度分量之代数和。这个结果与人类的经验事实相符，也符合公认的逻辑法则，是自然而合理的。

关键词：电磁波速度，源观相对速度，推迟势，等效介电率，等效导磁率，各向异性

The speed of electromagnetic wave emitted

by a moving source charge

Keyun Tang

Institute of geology and geophysics, Chinese academy of sciences

kytang@mail.igcas.ac.cn

We have proved that the D 'Alembert wave equation in vacuum is derived under the condition that the source and the observer is relatively stationary. Therefore, “the source and the observer is relatively stationary" is a necessary condition for "the principle of constancy of electromagnetic wave speed ". It is inevitable to ask: if there is relative speed between source and observer, what should the propagation speed of electromagnetic wave be? According to the Lienard-Wiechert retarded potential theory, when there is a relative motion between the source and observer, the retarded potential will be related to this relative speed.

It is pointed out in this paper that this is equivalent to the change of dielectric constant and permeability in vacuum, becoming equivalent dielectric and equivalent permeability. The calculation shows that the equivalent permittivity and the equivalent permeability are anisotropic in the vacuum with relative motion between source and observer. The result derived in this paper is that the propagation speed of electromagnetic wave is equal to the algebraic sum of the electromagnetic wave velocity at relative rest and the components of the relative motion along the

propagation direction of the electromagnetic wave. This result accords with the human experience and the accepted logic law. It is natural and reasonable.

Key words: speed of electromagnetic wave, relative speed between source and observer, retarded potential, equivalent permittivity, equivalent permeability, anisotropy

一、 源观相对静止条件下的达朗贝尔波动方程

我们已经证明：在真空中，在源观相对静止的条件下，达朗贝尔波动方程是

$$\begin{aligned}\nabla^2\varphi-\varepsilon_0\mu_0\frac{\partial^2\varphi}{\partial t^2}&=-\frac{\rho}{\varepsilon_0},\\ \nabla^2\vec{A}-\varepsilon_0\mu_0\frac{\partial^2\vec{A}}{\partial t^2}&=-\mu_0\vec{j}\end{aligned} \tag{1.1}$$

在以上达朗贝尔波动方程中，记

$$C_0\equiv\frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}} \tag{1.2}$$

是真空中，在源观相对静止条件下的电磁波传播速度，或光速。

这个“电磁波速度C_0”或“光速”完全取决于在真空中，在源观相对静止条件下的介电常数ε_0和导磁率μ_0。

我们强调：在真空中，在源-观相对静止的条件下，介电常数ε_0和导磁率μ_0都是不变的常数；电磁场或电磁波的传播空间是均匀的，各向同性的。所以，在这样的条件下，无论观测者相对于源电荷、源电

流的距离和方位几何，无论源电荷、源电流和观测者所在的实验室的绝对运动情况如何，无论实验室是否在地球上，传播速度都应是相同的。这是一个合理的推论，符合人类的经验事实。

二、 源观相对运动的推迟势

在第一节，我们已经证明，在源观相对静止的真空中，电磁波的传播空间是各向同性的，推迟标势和推迟矢势都与电磁波的传播方向无关；在李纳–维谢推迟势的表达式中，理据李纳–维谢推迟势理论，当源电荷相对于观测者运动，相对速度为$\vec{u}$，推迟标势和推迟矢势变为

$$\begin{aligned}
\varphi_* &= \frac{\rho}{4\pi\varepsilon_0 R_*}\frac{1}{K},\\
\vec{A}_* &= \frac{\mu_0 \vec{j}}{4\pi R_*}\frac{1}{K},\\
K &= 1-\frac{\vec{u}\bullet\vec{e}_r}{C_0} = 1-\frac{u}{C_0}\cos\theta
\end{aligned} \tag{1.3}$$

其中，$\rho,\vec{j}$依次为电荷密度和电流密度，ε_0和μ_0依次是真空中源观相对静止时的介电常数和导磁率，C_0是真空中在源观相对静止条件下的电磁波速度，$\vec{R}_* = \vec{r}(t)-\vec{r}_q(t_*)$是由源电荷的推迟位置$\vec{r}_q(t_*)$指向观测者位置$\vec{r}(t)$的矢径，$t_* = t-\dfrac{R_*}{C_0}$是推迟时刻，$\vec{e}_r$ 是沿电磁波传播方向的单位矢量，θ是源观相对速度方向与电磁波传播方向之夹角。

由此可见，当源观之间有了相对速度，出现了两个变化：

第一， 推迟标势和推迟矢势与相对速度u的大小有关；

第二， 推迟标势和推迟矢势与电磁波的传播方向有关，电磁波传播

的空间不再各向同性，随夹角θ变化。

三、 源观相对运动情况下的电磁波速度

由（1.3）知，在源观相对运动的情况下，电磁波的传播空间不再是各向同性的。我们将

$$\varepsilon_* = \varepsilon_0 K \tag{1.4}$$

记为等效介电率；将

$$\mu_* \equiv \frac{\mu_0}{K} \tag{1.5}$$

记为等效导磁率。

我们强调，源电荷相对于观测者的运动方向成为一个特殊的方向，电磁波传播空间不再各向同性，传播速度不再各向不变，而是与源电荷的运动速度有关。真空达朗贝尔波动方程不再成立，无法由达朗贝尔波动方程确定电磁波的传播速度。

我们另从电磁波传播的物理图像入手，求解电磁波的传播速度。

我们另从电磁波传播的物理图像入手，求解电磁波的传播速度。

本文先求解沿源电荷运动方向的电磁波速度，如图 1 所示。。

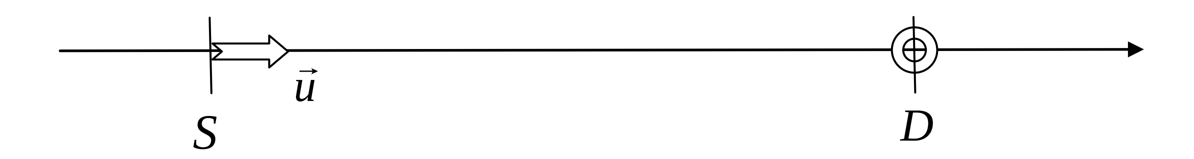


图 1　在真空中，由圆环所示的观测者位于 D 点，在实验室中静止，由箭头所示的源电荷位于 S 处，相对于实验室作匀速直线运动，相对速度为 $\vec{u}$。源电荷的运动方向与电磁波的传播方向相同。

我们先设想，如果实验室中的源电荷保持静止，位于 S 点，而观测者位于 D 点，两者的距离是

$$L = SD \tag{1.6}$$

电磁波从源电荷发出，向各处传播，传播速度为 C_0，到达观测者于 D 点所需的时间间隔为

$$\Delta t = \frac{L}{C_0} \tag{1.7}$$

现在，我们考虑源电荷的运动。一方面，电磁波从源电荷发出，向观测者 D 传播，另一方面，源电荷以速度 u 也向观测者 D 运动。

在时间间隔 Δt 内，源电荷也向观测者 D 运动，运动的距离是 $\Delta L = u\Delta t$。因此，电磁波相对于观测者 D 运动的实际距离是 $L - \Delta L = L - C_0 t$，电磁波从离开源电荷至到达观测者 D 所用的时间间隔为

$$\begin{aligned} \Delta t_* &= \Delta t \frac{L - u\Delta t}{L} \\ &= \Delta t\left(1 - \frac{u\Delta t}{C_0 \Delta t}\right) \\ &= \Delta t\left(1 - \frac{u}{C_0}\right) \end{aligned} \tag{1.8}$$

所以，由运动电荷发出的电磁波向观测者 D 传播的速度为

$$C_* = \frac{L}{\Delta t_*} = \frac{L}{\Delta t(1-\frac{u}{C_0})} = \frac{C_0}{1-\frac{u}{C_0}} \tag{1.9}$$

这是当源电荷相对于观测者相向运动的情况，如果电荷相对于观测者反向运动，则在（1.9）式中，将u前面的"+"改为"-"

$$C_* = \frac{C_0}{1+\frac{u}{C_0}} \tag{1.10}$$

总之，对于源电荷相对于观测者相向运动或反向运动的情况，由源电荷向观测者传播的电磁波速度是

$$C_* = \frac{C_0}{1\mp\frac{u}{C_0}} \tag{1.11}$$

"-"号对应于相向运动，"+"号对应于反向运动。

如果源电荷在实验室作低速运动，则

$$C_* = \frac{C_0}{1\mp\frac{u}{C_0}} \approx C_0(1\pm\frac{u}{C_0}) = C_0 \pm u \tag{1.12}$$

这个结果与数千年来人类的经验事实符合得极好，也符合公认的逻辑法则，是自然而合理的！

四、 沿任意方向传播的电磁波速度

对于源电荷相对于观测者作相向运动或反向运动的情况，我们已经很清楚了。如果源电荷相对于观测者运动的方向与电磁波传播的方向不相同，存在一定夹角，电磁波传播的速度几何？

在第 2 节和第 3 节，我们已经看到：影响推迟标势和推迟矢势的以及印象影响电磁波传播速度的是源观相对速度的平行分量，即与电磁波传播方向平行方向的速度分量，所以，仅须在（1.11）式中，将源电荷速度u修改为源电荷沿电磁波传播方向的速度分量u_r即可

$$C_* = \frac{C_0}{1 \mp \frac{u_r}{C_0}} \tag{1.13}$$

其中，

$$u_r = u\cos\theta \tag{1.14}$$

是源电荷沿电磁波传播方向$\vec{r}$方向的速度分量，如图 2 所示

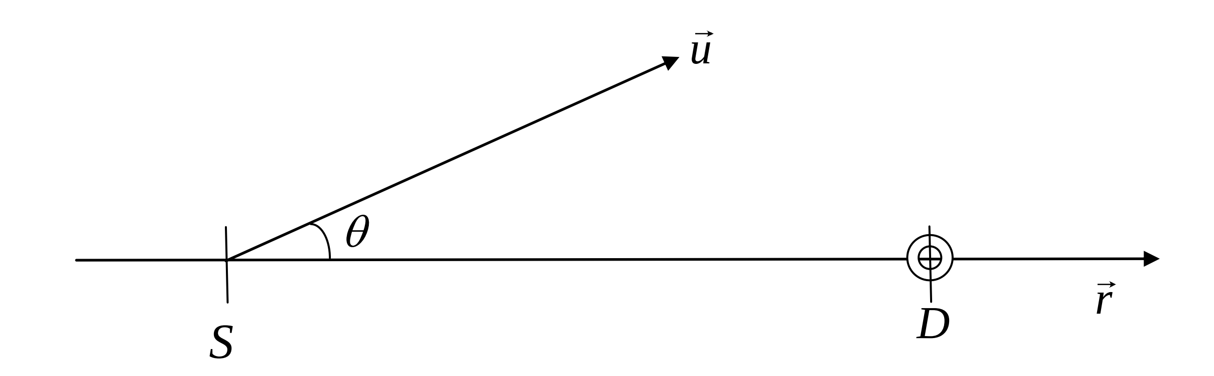


图 2　在真空中相对运动的源观对， 源电荷的运动方向与电磁波的传播方向不相同，电磁波沿$\vec{r}$方向传播，源电荷沿$\vec{u}$方向运动，两个方向的夹角为θ。

图中，S是源电荷，D是观测者也即场点。为叙述明确和简单，设观测者永远静止于实验室，只有源电荷相对于实验室运动。

如果源电荷在实验室作低速运动，则（1.13）化简为

$$C_* \approx C_0 \pm u_r \tag{1.15}$$

（1.15）等于源观相对静止电磁波速度与源观相对速度沿电磁波传播方向的速度分量之代数和。这个结果也与人类的经验事实符合得极好，并符合公认的逻辑法则，是自然而合理的！

讨论

1. 爱因斯坦在《狭义和广义相对论浅说》中给出的“科学判断法则”指出，一个正确的理论，必须符合公认的逻辑法则，必须符合公众的经验事实。胡友秋和程福臻先生在《电磁学与电动力学，下册》的狭义相对论一章中指出：狭义相对论的时空观与人们的日常生活经验格格不入。对此，狭义相对论教科书的解释是：狭义相对论的时空观是深刻的，正确的，而人们的日常生活经验是不完全正确的。本文认为：大自然的答案可能相反：鉴于光速不变原理只对源观相对静止的特殊情况成立，无法推广至源观相对运动的情况，狭义相对论的时空观没有实际意义。 而伽利略-牛顿的时空观是基本正确的；

2. 物理界用迈克尔逊干涉仪作了两大类实验，一是用来检验以太是否存在；二是用来探索引力波。第一大类实验的结果是零干涉，近年完成的第二大类实验的结果是存在干涉条纹的移动。物理界用两种理论分别解释了两大类结果：第一大类实验的零干涉，证明了伽利略变换不正确，以太不存在；第二大类实验的有干涉条纹移动，是由于引力波对干涉仪两臂的作用不同步，所以，出现了两臂伸缩的不一致，出现了光程差；根据本文的论证，可以用同一种理论去解释两大类实验的结果：当源观相对静止，电磁波的传播空间是各向同性的，电磁波的传播速度相同，不会出现光程差。 在迈克尔逊干涉仪中，光源相对于最后的干涉屏静止，所以，没有光程差；而黑洞爆发，一方面产生引力波，另一方面，物质源有向地球运动的速度分量，引力波的传播空间不再各向同性，所以出现光程差。与干涉臂在引力波作用下，发生不同形变的理论相比，这个解释更自然更合理。

参考文献

[1]. 爱因斯坦，狭义与广义相对论浅说，北京大学出版社，2006.1，北京.

[2]. J. D. Jackson, Classical Electrodynamics, 2nd edition, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1975.

[3]. 胡友秋 程福臻 叶邦角 刘之景，电磁学与电动力学(上册)，科学出版社，2014.6，第二版，北京.

[4].胡友秋 程福臻，电磁学与电动力学（下册），科学出版社，2014.6，第二版，北京.
[5].俞允强，电动力学简明教程，北京大学出版社，1999.7，北京.
[6].郭硕鸿，电动力学（第二版），高等教育出版社，1997.7，北京.
[7].刘辽，费保俊，张允中，狭义相对论，科学出版社，2008.7，北京.
[8].汤克云，比较洛伦兹变换和推迟电磁场的独立实验，中国科学院预印本平台，2016.6.16.
[9].汤克云，准确理解达朗伯尔波动方程的物理图像，中国科学院预印本平台，2023.4.10.
.